

การกำจัดน้ำเสียที่มีพีเอชต่ำโดยไบโอดรัม



นางสาว ศุภมิตร จันทรคำอ้าย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-577-049-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TREATMENT OF LOW pH WASTEWATERS BY BIODRUM



Miss Suphamit Jancamai

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-577-049-3



หัวข้อวิทยานิพนธ์      การกำจัดน้ำเสียที่มีพีเอชต่ำโดยไบโอดรัม  
โดย                              นางสาว ศุภมิตร จันทร์คำอ้าย  
ภาควิชา                            วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร.มันลิน ตัณฑุลเวศม์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย      อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรภักย์)      คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)      ประธานกรรมการ

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.มันลิน ตัณฑุลเวศม์)      กรรมการ อาจารย์ที่ปรึกษา

.....  
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิปเสนีย์)      กรรมการ

.....  
(รองศาสตราจารย์ ทวี จิตไมตรี)      กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมเพียงแผ่นเดียว



ศุภมิตร จันทรคำอ้าย : การกำจัดน้ำเสียที่มีพีเอชต่ำโดยไบโอক্রัม

(TREATMENT OF LOW pH WASTEWATERS BY BIODRUM)

อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. มั่นสิน คัดลุมเวศม์ , 160 หน้า. ISBN 974-577-049-3

ถึงปฏิกิริยาไบโอক্রัมที่ใช้ในการวิจัยนี้ แบ่งเป็น 4 ตอน แต่ละตอนมีปริมาตรเท่ากัน และมีไบโอক্রัมอยู่ตอนละ 1 ตัว ซึ่งในไบโอক্রัมบรรจุฝาจากพลาสติก เพื่อเป็นตัวกลางสำหรับยึดเกาะของจุลินทรีย์ ตัวกลางนี้มีพื้นที่ผิวรวมทั้งระบบ 6.36 ม<sup>2</sup>. คิดเป็นพื้นที่ผิวจำเพาะ 400 ม<sup>2</sup>./ม<sup>3</sup>. ไบโอক্রัมนี้จมอยู่ในน้ำ 25 % ของพื้นที่หน้าตัด และหมุนด้วยความเร็วรอบ 15.83 เมตร/นาที

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ใช้ค่าออร์แกนิกโพลดิง 7.20 , 4.00 , 3.57 และ 1.90 ก.ซีไอที/ม<sup>2</sup>.-วัน ที่เวลาเก็บกักน้ำ 60 , 120 , 40 และ 60 ชั่วโมงตามลำดับ สำหรับน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลไม้แช่อิ่มและอบแห้ง (มีซีไอทีประมาณ 12,000 - 20,000 มก./ล.) และใช้ค่าออร์แกนิกโพลดิง 2.00 ก.ซีไอที/ม<sup>2</sup>.-วัน ที่เวลาเก็บกักน้ำ 60 ชั่วโมง สำหรับน้ำเสียจากโรงงานผลิตลูกกวาดและยา (มีซีไอทีประมาณ 4,800 มก./ล.) ซึ่งน้ำเสียทั้ง 2 ชนิดเป็นน้ำเสียที่มีพีเอชต่ำ ( ~ 3.6-4.8) และไม่มีสารปรับพีเอชก่อนทำการทดลอง

จากผลการทดลอง ปรากฏว่าในทุกการทดลอง ระบบไบโอক্রัมสามารถกำจัดซีไอทีในน้ำเสียทั้งสองชนิดได้ไม่ต่ำกว่า 99 % แต่ถ้าใช้ออร์แกนิกโพลดิงสูงถึง 7.20 ก.ซีไอที/ม<sup>2</sup>.-วัน แล้ว จะเกิดการย่อยสลายแบบขาดออกซิเจนขึ้นในตอนที่ 1 ของระบบ ทำให้เกิดน้ำเหม็น สีภาวะตะกอนจมไม่ลง และมีตะกอนแขวนลอยหลุดออกจากระบบเป็นจำนวนมาก ประสพการณ์จากงานทดลองนี้ทำให้เชื่อว่า ฝาจากพลาสติกอาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวกลางสำหรับระบบไบโอক্রัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม .....  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม .....  
ปีการศึกษา ..... 2532 .....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....





SUPHAMIT JANCAMAI : TREATMENT OF LOW pH WASTEWATERS BY BIODRUM. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MUNSIN TUNTOOLAVERTS, Ph.D. 160 pp. ISBN 974-577-049-3

The reactor in this study contains four stages of biodrum using plastic bottle caps as the media for microorganism attachment. The media had the overall surface area of 6.36 m<sup>2</sup> with specific surface area of 400 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Approximately 25 % of the cross section area of the drums are submerged in water. The peripheral speed of the biodrum is 15.83 m/min.

In this study, organic loading of 7.20 , 4.00 , 3.57 and 1.90 g.COD/m<sup>2</sup> -day and detention times of 60 , 120 , 40 and 60 hours, respectively, were used in treating wastewater from a dehydrated fruit factory (having COD approximately 12,000 to 20,000 mg/l). Organic loading of 2.0 g.COD/m<sup>2</sup> -day and detention time of 60 hours was used in treating wastewater from a candy and drug factory (having COD approximately 4,800 mg/l). Both wastewaters had low pH ( ~ 3.6-4.8) and no pH adjustment to wastewaters were performed.

According to experimentation results, the biodrum system was found to be able to remove more than 99 % of COD from both types of wastewater in all test runs. However, the biodrum, especially in the first stage, would become anaerobic and septic when the organic loading reached 7.20 g.COD/m<sup>2</sup> -day , resulting in the occurrence of sludge bulking and excessive loss of suspended solids from the biodrum. It was observed that the plastic bottle caps might not be suitable to be used as biodrum media.

ภาควิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา ..... 2532

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....



### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มันลิน ตัณฑุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดอย่างไม่เห็นแก่ความเหน็ดเหนื่อย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน และคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณ<sup>๑๒</sup> และเพื่อนๆทุกท่านที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ค่าใช้จ่ายในการวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ จึงขอแสดงความขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ความดีและประโยชน์ทั้งหลายของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขออุทิศแด่บุพการี ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญเรื่อง.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย.....	3
2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
2.2 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
3. ทฤษฎี.....	4
3.1 กระบวนการทางชีวเคมี.....	4
3.1.1 การกำจัดสารละลายอินทรีย์.....	4
3.1.2 การสร้างเสถียรภาพให้ตะกอนอินทรีย์.....	4
3.1.3 การเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ.....	5
3.2 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์ (microbial interaction).....	7
3.2.1 ปฏิสัมพันธ์แบบเป็นกลาง (neutral interaction).....	7
3.2.2 ปฏิสัมพันธ์แบบช่วยเหลือกัน (benevolent interaction).....	7
3.2.3 ปฏิสัมพันธ์แบบเป็นศัตรูกัน (antagonistic interaction).....	8
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างลัทธิสเตรต พลังงาน และผลผลิตของเซลล์ (yield).....	8
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กับการบริโภคลัทธิสเตรต.....	12
3.5 ลักษณะสมบัติของ fixed film.....	14
3.5.1 ระบบนิเวศน์ (ecosystem).....	14
3.5.2 การเกาะและการหลุด (microbial attachment and sloughing).....	15
3.5.3 องค์ประกอบทางเคมี.....	16
3.5.4 ความหนาแน่นของจุลินทรีย์.....	16
3.5.5 ค่าสัมประสิทธิ์แพร่ซึม.....	17
3.5.6 กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์.....	22

3.5.7	ความหนาประสิทธิภาพ (effective depth).....	23
3.5.8	สภาพขาดแคลนสารอินทรีย์และออกซิเจน.....	23
3.6	วิวัฒนาการของระบบอาร์บีซี.....	25
3.7	รายงานและผลการวิจัยที่เกี่ยวกับระบบอาร์บีซี.....	28
3.8	หลักการดำเนินงานของระบบอาร์บีซี.....	39
3.9	องค์ประกอบที่มีผลต่อการทำงานของระบบอาร์บีซี.....	39
3.9.1	ความเร็วยกเว้นในการหมุนแผ่นตัวกลาง.....	39
3.9.2	จำนวนตอนของอาร์บีซี.....	41
3.9.3	อุณหภูมิของน้ำเสีย.....	42
3.9.4	พื้นที่ผิวของแผ่นตัวกลาง.....	42
3.9.5	ปริมาณส่วนที่จมตัวของแผ่นตัวกลาง.....	42
3.9.6	โหลตดิ่ง.....	43
3.9.7	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ.....	44
3.10	ชนิดของจุลินทรีย์บนแผ่นตัวกลาง.....	44
3.11	ข้อดีและข้อเสียของระบบอาร์บีซี.....	45
3.11.1	ข้อดีของระบบอาร์บีซี.....	45
3.11.2	ข้อเสียของระบบอาร์บีซี.....	46
4.	การดำเนินการวิจัย.....	47
4.1	แผนการวิจัย.....	47
4.2	น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย.....	49
4.2.1	ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย.....	49
4.2.2	ปริมาณอาหารเสริมสร้าง.....	51
4.3	เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง.....	51
4.3.1	ถังปฏิกรณ์ระบบไบโอดรัม (biodrum reactor).....	51
4.3.2	ตัวกลางพลาสติก (plastic media).....	53
4.3.3	ถังพักน้ำเสีย.....	55
4.3.4	เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย (peristaltic pump).....	55
4.4	การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	55
4.4.1	การเก็บตัวอย่างน้ำ.....	55
4.4.2	เทคนิคการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	55



บทที่	หน้า
5. ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล.....	58
5.1 การเพาะเลี้ยงฟิล์มชีว.....	58
5.2 ลักษณะทางกายภาพและชนิดของจุลินทรีย์ที่พบในระบบไบโอดีรမ်.....	59
5.2.1 ปริมาณและความหนาของฟิล์มชีว.....	59
5.2.2 สีของฟิล์มชีว.....	59
5.2.3 ชนิดจุลินทรีย์ที่พบ.....	60
5.3 ผลการวิจัยระบบไบโอดีรမ်และการวิจารณ์ผล.....	65
5.3.1 ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผลของการวิจัยที่ไม่เกิดสภาวะตะกอนจมไม่ลง (การวิจัยชุดที่ 1 เฉพาะการทดลองที่ 1 และการวิจัยชุดที่ 2).....	65
5.3.1.1 พีเอช.....	65
5.3.1.2 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด.....	70
5.3.1.3 ตะกอนแขวนลอย.....	70
5.3.1.4 $V_{30}$ .....	79
5.3.1.5 ออกซิเจนละลายน้ำ.....	79
5.3.1.6 โออาร์พี.....	87
5.3.1.7 ความเป็นด่างรวม.....	90
5.3.1.8 เจลคัลไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัส.....	94
5.3.2 ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผลของการวิจัยที่เกิดสภาวะตะกอนจมไม่ลง (การทดลองที่ 2 และ 3 ของการวิจัยชุดที่ 1).....	96
5.3.2.1 ผลการวิจัย.....	96
5.3.2.2 การเกิดสภาวะตะกอนจมไม่ลงของการทดลองที่ 2 ในการวิจัยชุดที่ 1 ภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดติง 7.20 ก. ซีโอดี/ตร.ม.-วัน และเวลาเก็บกักน้ำ 60 ชั่วโมง.....	104
5.3.2.3 การเกิดสภาวะตะกอนจมไม่ลงของการทดลองที่ 3 ในการวิจัยชุดที่ 1 ภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดติง 3.57 ก. ซีโอดี/ตร.ม.-วัน และเวลาเก็บกักน้ำ 40 ชั่วโมง.....	107

5.3.3	เปรียบเทียบการทำงานของระบบไบโอดีรမ်ในการวิจัยชุดที่ 2 เมื่อใช้น้ำเสียต่างชนิดกันภายใต้ระดับออกซิเจนที่ใกล้เคียงกัน (1.90 และ 2.00 ก.ซีไอดี/ตร.ม.-วัน) และระยะเวลาเก็บกักน้ำ เท่ากัน (60 ชั่วโมง).....	109
5.3.4	ความเหมาะสมในการนำฟาจพลาสติก มาใช้เป็นตัวกลางยึดเกาะ สำหรับจุลชีพในระบบไบโอดีรမ်.....	110
5.4	ข้อเปรียบเทียบระหว่างระบบไบโอดีรမ်กับระบบชนิดอื่นๆ.....	114
6.	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	115
6.1	บทสรุป.....	115
6.2	ข้อเสนอแนะในการวิจัยที่นำศึกษาต่อไป.....	116
บรรณานุกรม.....		117
ภาคผนวก ก	วิธีคำนวณคุณสมบัติต่างๆของตัวกลาง.....	123
ภาคผนวก ข	ข้อมูลดิบของตัวแปรต่างๆ.....	126
ประวัติผู้วิจัย	.....	146

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 $Y_{\mu}$ ของจุลินทรีย์หลายชนิดที่เลี้ยงแบบใช้ออกซิเจนในสารละลายกลูโคส.....	10
3.2 $Y_{\mu}$ ของ <i>Aerobacter aerogenes</i> ที่เติบโตแบบใช้ออกซิเจน ในสับสเตรตต่างๆ.....	11
3.3 ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ใน fixed film ในถังปฏิกริยาต่างๆและที่ความหนาต่างๆ..	17
3.4 ค่าสัมประสิทธิ์แพร่ซึมสารต่างๆในฟิล์มชีว.....	19
3.5 คำแนะนำในการออกแบบจำนวนตอนของอาร์บิท โดยผู้ผลิตในสหรัฐอเมริกา.....	42
4.1 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวิจัย.....	48
4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลไม้แช่อิ่มและอบแห้ง.....	50
4.3 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานผลิตลูกกวาดและยา.....	50
4.4 อัตราส่วนของ COD : N : P ของน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย และอัตราส่วนของการเติมอาหารเสริมสร้างให้แก่ น้ำเสีย.....	51
4.5 คุณสมบัติของตัวกลางพลาสติกที่ใช้ในการวิจัย.....	53
4.6 แผนการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	57
5.1 ปริมาณและความหนาของฟิล์มชีวในไบโอดรัมแต่ละตอน ที่ระดับออร์แกนิกโหลดดิ้งต่างๆกัน.....	61
5.2 สีของฟิล์มชีวในไบโอดรัมแต่ละตอน ที่ระดับออร์แกนิกโหลดดิ้งต่างๆกัน.....	61
5.3 ค่าพีเอชภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดดิ้งต่างๆ ในช่วง steady state.....	66
5.4 ค่าซีโอดีภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดดิ้งต่างๆ และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของระบบ ในช่วง steady state.....	75
5.5 ค่าตะกอนแขวนลอยภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดดิ้งต่างๆ ในช่วง steady state...	75
5.6 ค่า $V_{30}$ ภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดดิ้งต่างๆ ในช่วง steady state.....	86
5.7 ค่าออกซิเจนละลายน้ำภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดดิ้งต่างๆ ในช่วง steady state.	86
5.8 ค่าไออาร์พีภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดดิ้งต่างๆ ในช่วง steady state.....	93
5.9 ค่าความเป็นด่างรวมในน้ำทิ้งภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดดิ้งต่างๆ ในช่วง steady state.....	93
5.10 ค่า COD , N และ P ในระบบไบโอดรัม ที่ช่วง steady state.....	94
5.11 เปรียบเทียบค่าตัวแปรเปลี่ยนตามต่างๆในการวิจัยชุดที่ 2 ในช่วง steady state..	110
5.12 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางชนิดต่างๆ ที่เคยใช้ในระบบอาร์บิท หรือที่มีขายในท้องตลาด โดยบริษัทผู้ผลิตต่างๆ.....	112



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 ปฏิกริยาชีวสังเคราะห์และโภชนาการของจุลินทรีย์.....	6
3.2 การใช้ลึบสเตรตเพื่อสร้างพลังงานและเซลล์ใหม่ ตามแนวความคิดของวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์.....	10
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/R$ กับ $1/S_s$ .....	13
3.4 ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ในฟิล์มชีวที่ขึ้นความหนาต่างๆ.....	18
3.5 ลักษณะชั้นฟิล์มชีวในกรณีความเข้มข้นของสารอินทรีย์และออกซิเจน.....	24
3.6 สภาพขาดแคลนสารอินทรีย์และ/หรือออกซิเจนในระบบกำจัดน้ำเสียแบบใช้ฟิล์มชีว....	26
3.7 เปรียบเทียบการเกาะของจุลินทรีย์บนอาร์บิที และ ระบบโปรยกรอง.....	27
3.8 flow diagram ของระบบ อาร์บิที.....	40
4.1 flow diagram ของระบบไบโอตรัม.....	48
4.2 รายละเอียดของถังปฏิกริยาที่ใช้ในการวิจัย.....	52
4.3 รายละเอียดของไบโอตรัมที่ใช้ในการวิจัย.....	54
4.4 รายละเอียดของตัวกลางพลาสติก.....	54
5.1 ลักษณะทางกายภาพของไบโอตรัมภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดติง	
4.00 ก.ซีไอดี/ม. <sup>2</sup> -วัน ในช่วง steady state.....	62
5.2 ลักษณะทางกายภาพของไบโอตรัมภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดติง	
7.20 ก.ซีไอดี/ม. <sup>2</sup> -วัน.....	62
5.3 ลักษณะทางกายภาพของไบโอตรัมภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดติง	
3.57 ก.ซีไอดี/ม. <sup>2</sup> -วัน.....	63
5.4 ลักษณะทางกายภาพของไบโอตรัมภายใต้ระดับออร์แกนิกโหลดติง	
2.00 ก.ซีไอดี/ม. <sup>2</sup> -วัน ในช่วง steady state.....	64
5.5 การเปลี่ยนแปลงของพีเอชที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 1 (การทดลองที่ 1 ออร์แกนิกโหลดติง 4.00 ก.ซีไอดี/ม. <sup>2</sup> -วัน).....	67
5.6 การเปลี่ยนแปลงของพีเอชที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 2.....	68
5.7 ค่าพีเอชที่ตำแหน่งต่างๆในช่วง steady state.....	69
5.8 ค่าซีไอดีที่เข้าสู่ระบบไบโอตรัมของการวิจัยชุดที่ 1 (การทดลองที่ 1 ออร์แกนิกโหลดติง 4.00 ก.ซีไอดี/ม. <sup>2</sup> -วัน).....	71
5.9 ค่าซีไอดีที่เข้าสู่ระบบไบโอตรัมของการวิจัยชุดที่ 2.....	71

รูปที่	หน้า
5.10 การเปลี่ยนแปลงของซีโอติที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 1 (การทดลองที่ 1 ออร์แกนิกโพลดิง 4.00 ก.ซีโอติ/ม. <sup>2</sup> -วัน).....	72
5.11 การเปลี่ยนแปลงของซีโอติที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 2.....	73
5.12 ค่าซีโอติที่ตำแหน่งต่างๆในช่วง steady state.....	74
5.13 การเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 1 (การทดลองที่ 1 ออร์แกนิกโพลดิง 4.00 ก.ซีโอติ/ม. <sup>2</sup> -วัน).....	76
5.14 การเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 2.....	77
5.15 ค่าตะกอนแขวนลอยที่ตำแหน่งต่างๆในช่วง steady state.....	78
5.16 การเปลี่ยนแปลงของ $V_{so}$ ที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 1 (การทดลองที่ 1 ออร์แกนิกโพลดิง 4.00 ก.ซีโอติ/ม. <sup>2</sup> -วัน).....	80
5.17 การเปลี่ยนแปลงของ $V_{so}$ ที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 2.....	81
5.18 ค่า $V_{so}$ ที่ตำแหน่งต่างๆในช่วง steady state.....	82
5.19 การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 1 (การทดลองที่ 1 ออร์แกนิกโพลดิง 4.00 ก.ซีโอติ/ม. <sup>2</sup> -วัน).....	83
5.20 การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 2.....	84
5.21 ค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ตำแหน่งต่างๆในช่วง steady state.....	85
5.22 การเปลี่ยนแปลงของไออาร์พีที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 2.....	88
5.23 ค่าไออาร์พีที่ตำแหน่งต่างๆในช่วง steady state.....	89
5.24 การเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างรวมในน้ำทิ้งสุดท้ายของการวิจัยชุดที่ 1 (ที่ออร์แกนิกโพลดิง 4.00 ก.ซีโอติ/ม. <sup>2</sup> -วัน).....	91
5.25 การเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างรวมในน้ำทิ้งสุดท้ายของการวิจัยชุดที่ 2 (ที่ออร์แกนิกโพลดิง 1.90 ก.ซีโอติ/ม. <sup>2</sup> -วัน).....	91
5.26 การเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างรวมในน้ำทิ้งสุดท้ายของการวิจัยชุดที่ 2 (ที่ออร์แกนิกโพลดิง 2.00 ก.ซีโอติ/ม. <sup>2</sup> -วัน).....	92
5.27 ค่าความแตกต่างรวมในน้ำทิ้งสุดท้ายที่ระดับออร์แกนิกโพลดิงต่างๆ ในช่วง steady state.....	92
5.28 การเปลี่ยนแปลงของพีเอชที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 1.....	97
5.29 ค่าซีโอติที่เข้าสู่ระบบไบโอক্রัมของการวิจัยชุดที่ 1.....	98
5.30 การเปลี่ยนแปลงของซีโอติที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 1.....	99



รูปที่	หน้า
5.31 การเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 1.....	100
5.32 การเปลี่ยนแปลงของ $V_{30}$ ที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 1.....	102
5.33 การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 1.....	103
5.34 การเปลี่ยนแปลงของโออาร์พีที่ตำแหน่งต่างๆของการวิจัยชุดที่ 1.....	105
5.35 ตัวอย่างแบบมาตรฐานและตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูง ของบริษัท Autotrol ประเทศสหรัฐอเมริกา.....	113



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย